Uma defesa é necessária para a produção de um trabalho popular na Relatividade depois do próprio Einstein ter empreendido tal tarefa. Como uma questão de fato, nosso propósito aqui é algo diferente de Einstein. Esse pequeno livro está escrito, não tanto para esses que desejam entender uma teoria física do ponto de vista de um físico, como para o grande corpo de homens inteligentes e mulheres que parecem na física como uma das muitas estradas dentro dos segredos do Universo, e desejam conhecer essas curvas na relação do grande campo de investigação humana.

O alvo dominante através do livro tem sido fazer as idéias definir e inteligível para o ordinário da mente. Todas as outras considerações – estritamente fraseologias filosóficas, graças literárias, formas convencionais de apresentação, tudo, de fato, mas verdade – tem sido subordinada para esse fim. Entre o Caríbdis da imprecisão e a Scilla do abstruso, o curso é estreito e o mar é bruto. O vaso dificilmente vai escapar das turbulências de um dos dois lados. É esperado, todavia, que na presente viagem uma passagem vai ser feita sem contratempo fatal.

Esses que desejam perseguir o assunto mais profundamente, de um dos dois pontos de vista filosófico ou científico, são recomendados para os trabalhos do Professor A. N. Whitehead, F. R. S. O autor está satisfeito para reconhecer sua profunda gratidão para o Professor Whitehead por inestimável ajuda e incansável bondade em desvendar os mistérios de um assunto difícil

H. D

Colégio Imperial de Ciência e Tecnologia
Julho de 1921

CONTEÚDO

PARTE I
OS FUNDAMENTOS DA CIÊNCIA

PARTE II
AS LEIS DA NATUREZA

RELATIVIDADE PARA TODOS

PARTE I

OS FUNDAMENTOS DA CIÊNCIA

CAPÍTULO I

COMO A TEORIA SURGIU

“Espaço é de pensado, e as maravilhas disto, e os segredos do espaço, é pensado não mais que os trovões e relâmpagos, deve pensar dado lugar?
Tempo, pai da vida, e mais grande que a vida é causado e começado, a Terra guardiã da vida e céus e seu destino, vive, pensa e possui substância no homem”

Quando Swinburne escreveu essas palavras, ele estava pensando que o maravilhoso sendo ele era. Que eles iam sempre vir para ser uma expressão poética de frieza, idéias cientificas sobre matéria, tempo, e espaço, era provavelmente o pensamento mais distante de sua mente inacessível. Ainda então é. A nova doutrina da Relatividade herda um completo arrancamento das concepções que tem anteriormente sido seguradas para ele invioláveis nas fundações do pensamento e experiência. A teoria não é meramente especulação metafísica. Ela foi surgida em ordem para explicar certos fatos de observação, os quais pareciam para apontar para isso como a declaração mais provável da natureza do Universo o qual nós percebemos.

Deixe-nos pensar por um momento do caminho no qual nós estamos acostumados – silenciosamente, quase subconscientemente – para considerar o mundo físico. Nós pensamos disso como um número de pedaços de matéria. Esses pedaços de matéria existem no espaço. Nós geralmente não tomamos o problema para definir por nós mesmos exatamente o que nós significamos por “espaço,” mas nós entendemos um outro bastante bem quando nós nos referimos para isso em conversação. Isso é um tipo de recipiente, sem limitar em qualquer direção, na qual o material do mundo existe e move-se sobre. Quando nós dizemos um certo objeto está “ali,” nós temos uma clara idéia de que nós significamos, e nós nos sentimos confiantes de que, com a condição de que o objeto não se move, ele sempre está “ali,” não importando o que nós fizermos. Se nós podemos tomar as asas da manhã, e ficar por um

tempo nas partes mais extremas do mar, o objeto vai ainda estar "ali". Então nós também temos uma idéia de tempo. Nós não definimos isso tampouco, mas nós sabemos o que isso significa. Quando algo tem acontecido, isso pertence ao passado. Nada pode sempre trazer o mesmo acontecimento dentro do presente ou o futuro de novo. Isso aconteceu em algum definido tempo, e toda pessoa no Universo que observa isso vai aceitar com toda outra pessoa como para que esse tempo era, supondo todo um ter um relógio preciso.

Essas três "coisas" – matéria, espaço, e tempo – são os três independentes, rochas fundações imóveis do Mundo, como nós estamos acostumados a considerar, e ciência tem até aqui adotado elas como o único dado possível nos termos nos quais expressa essas descobertas. Por exemplo, a lei da gravitação expressa o caminho no qual a matéria se move próximo a outra matéria, isso descreve como a posição de *matéria* no *espaço* muda como o *tempo* avança. Todas as outras leis físicas tem sido essencialmente do mesmo tipo.

Mas recentemente, cientistas tiveram motivos para questionar ou espaço, tempo, e matéria se são realmente as coisas absolutas e fundamentais que nós temos suposto. A dúvida aparece no seguinte modo. Como o resultado de um considerável acúmulo de experiência, isso tem sido impresso nos físicos que o espaço não está vazio, mas está cheio, em todo canto e fenda dessa extensão infinita, com um tipo de invisível, intangível super matéria, a qual tem sido chamada de "éter". O primeiro – e ainda uma das mais convincentes – das indicações dessa substância veio do estudo da propagação da luz através do espaço. Certos experimentos de laboratório consideráveis pareciam para garantir qual luz podia atravessar de um corpo luminoso para o olho sem em forma que esse de um trem de ondas, como as ondas dilatando fora em um poço de água quando uma pedra é atirada dentro disso. Os fatos apontados unanimemente nessa direção, e sua força combinada tem quase cativado. Mas ondas são impensáveis sem algum médio no qual eles existem. Eles devem ser obviamente através da qual ondas de luz viajam o que é esse algo? Isso não está no ar, porque a luz alcança-nos de milhões de estrelas de milhas de distância, e há, para o melhor de nosso conhecimento, sem ar ou matéria de qualquer tipo alcançando todo o caminho das estrelas para nós. Isso deve ser algo do qual a existência nós não temos anteriormente sido cientes, algo que preenche todo o espaço, da luz vinda para nós de todas as direções e de inimagináveis distâncias. Isso deve, ainda mais, penetrar os poros e lugares secretos da matéria por si mesma, por não fazer luz passar através de alguns corpos, os quais são ditos serem "transparentes". Cientistas, então, foram conduzidos a idéia de um espaço cheio com esse infinito, éter todo infiltrado.

Agora não há nada em tudo isso para desafiar nosso senso comum. A concepção de um éter onipresente não oferece dificuldade para a imaginação. Todavia, nós devemos nos sentir mais satisfeitos na questão se nós temos algum sinal direto da existência do éter. Um experimento dando evidência imediata de que isso iria ser mais convincente que essa aparência como era reconhecido por físicos, e muitas tentativas foram feitas para denunciar o éter dentro de uma declaração dessa realidade. Um dos mais prometidos disso era a busca pela velocidade da terra como ela viaja através do éter. Desde que o éter enche todo o espaço, isso tem que ser considerado como sendo o resto como um todo. Isso não pode se mover corporalmente porque isso era infinito e não havia nada para isso para mover-se mais fundamental que essa velocidade – algo mais fundamental que essa velocidade de revolução em volta do Sol, o qual ignora qualquer movimento possível do próprio Sol.

Para entender o mais famoso de todos os experimentos para medir essa velocidade absoluta, nós devemos retratar a terra nadando através do éter em alguma velocidade a qual nós estamos para encontrar fora. Suponha que, na superfície da terra, e viajando com isso, há dois objetos – uma lâmpada e um espelho (A), representado na Fig. I. Suponha também que esses objetos deitam na linha do movimento absoluto da terra – não importa o que isso possa ser – o espelho em avanço da lâmpada. Deixe a lâmpada ser descoberta por um instante, assim que isso envia um raio através do espelho (A). Agora a luz viaja com uma velocidade definida (186,000 milhas por segundo). Ela se move nessa velocidade através do éter através do espelho (A). Mas o espelho (A) está correndo longe do raio, desde que isso está fixado para

a terra, e a terra está se movendo através do éter. Conseqüentemente, a luz deve tomar longe para alcançar o espelho (A), a luz é refletida de volta para a lâmpada. Mas agora a lâmpada está se movendo para encontrá-la, assim que
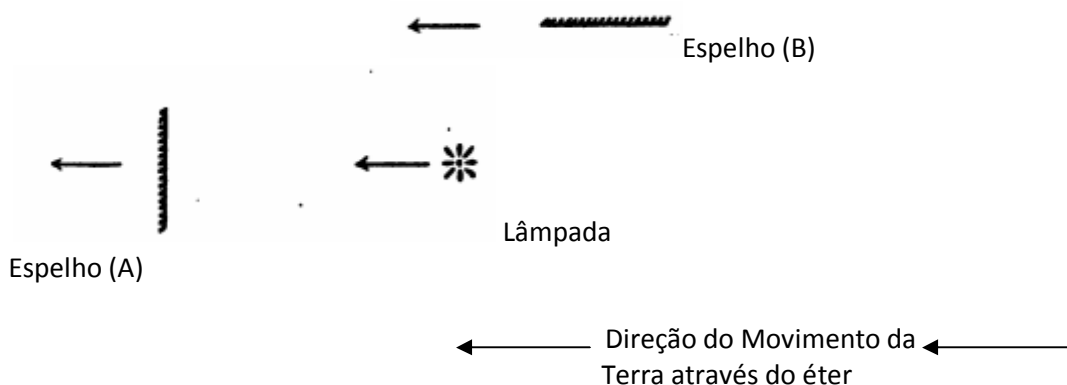
Fig. I.

A luz vai fazer a jornada de retorno mais rapidamente que isso ia ter sido feito se a terra tivesse estado em repouso. Essa é uma questão muito simples para calcular qual o tempo está para a jornada total indo e vindo, nos termos da velocidade absoluta desconhecida da terra. Mas agora suponha que, ao mesmo tempo como o raio de luz deixa a lâmpada, outro raio deixa o mesmo ponto nos ângulos direito para o primeiro, através do espelho (B). Esse raio vai mover-se através da linha do movimento da terra, e o tempo disso vai tomar atuação de sua completa jornada para o espelho (B) e voltar, pode ser calculado também. Na realização dos cálculos, nós encontramos que o segundo raio deve retornar para a lâmpada antes do primeiro, e nós podemos dizer exatamente como muito mais cedo isso deve chegar – nos termos, com certeza, de uma velocidade desconhecida. O intervalo deve variar através do ano, devido a mudança na direção e taxa de movimento da terra.

Agora um experimento nessas linhas – o famoso experimento de Michelson-Morley – foi realmente realizado em 1887. O aparato usado era tão delicado que ele era capaz de detectar uma quantidade bastante pequena que essa a qual isso era esperado para medir. Todo mundo esperava o resultado com confiança. Mas quando o experimento foi feito, foi encontrado que os dois raios chegaram de volta *ao mesmo tempo*. O aparato foi virado em volta, então esses os espelhos foram em diferentes posições relativas a lâmpada; o experimento foi repetido em diferentes vezes do ano; mas sempre o resultado era o mesmo – os dois raios tomavam precisamente o mesmo tempo de suas respectivas jornadas.

Agora isso deve ser reconhecido de uma vez que isso era uma coisa mais extraordinária. Aqui foi um experimento, realizado com todo cuidado e aparentemente com completo entendimento do que estava sendo feito, o qual falhou completamente para dar o resultado que o senso comum ia ter pensado inevitável. Por que o experimento parecia implicar é isso. Nós sabemos que, se um pássaro voa de um fim de um trem para outro, ele vai completar a jornada logo se o trem está se movendo em direção a ele que ele vai fazer se isso estava em repouso. O experimento sugere que, se ele apenas se move tão rapidamente como a luz, ele vai aparecer para o maquinista para alcançar o fim no mesmo tempo, não importando se o trem está em repouso, ou se movendo através dele, ou se movendo longe dele. Isso parece impossível, mas a experiência mostra ser verdade.

Se qualquer explicação está para ser dada, então, isso deve necessariamente envolver algo revolucionário. Várias sugestões foram oferecidas, mas, na luz das investigações futuras em qualquer taxa, nenhuma delas era tão satisfatória ou de alcance longo como o mais revolucionário de todos – o princípio da relatividade. Deixe-nos perguntar para nós mesmos o que o senso comum diz que o pássaro não pode alcançar o fim do trem no mesmo tempo, quando o trem está se movendo, como ele faz quando ele está em repouso. Nós respondemos

que ele está para viajar por diferentes distâncias no espaço nos dois casos. Se, durante seu vôo, o trem tem se movido, seu fim é distante, quando ele alcança isso, vai estar no ponto no espaço diferente desse o qual isso ocupou no começo. Os tempos tomados pelas duas jornadas vão ainda estar assumindo que "espaço" e "tempo" significam a mesma coisa para o maquinista em repouso como eles fazem para o maquinista em movimento. O que se eles são diferentes? Nesse caso, certamente, nós devemos não saber o que esperar. Se o que um homem chama de uma hora, outro chama um minuto, e o que o primeiro pronuncia uma jarda, o segundo declara ser uma milha – ***e se não é possível critério para testar suas declarações, então ambos esses estão igualmente certos ou igualmente errados*** – então isso não vai surpreender se os resultados estão obtidos os quais vão do modo contrário ser considerados impossíveis. Isso é, em essência, só o que o princípio da relatividade diz. Isso declara que as concepções de espaço e tempo – e – não são absolutas e independentes, mas são relativas para o observador. O que nós queremos dizer por isso? Nós vamos tentar explicar isso no próximo capítulo.

CAPÍTULO II

ESPAÇO, TEMPO, E MATÉRIA

Suponha um ser, dotado com plena inteligência humana, mas sem qualquer experiência ou conhecimento do mundo, foi repentinamente criado e colocado, diz, no Hampstead Heath: o que ele ia perceber? A resposta que nós devemos naturalmente dar para essa questão está contida no primeiro capítulo – ele vai perceber coisas materiais no espaço e tempo. A resposta da relatividade, contudo, é diferente. De acordo com ele, o homem vai perceber um número de acontecimentos, ocorrências, eventos. Sua interpretação como objetos materiais no espaço e tempo vai vir depois, e vai ser o resultado da ordenação inteligente dos eventos entre eles mesmos.

Deixe-nos tomar um exemplo. Suponha que nosso visitante vê uma vespa acesa numa flor. Isso é um evento. Depois, suponha que a vespa acende em sua mão. Que é outro evento. Nós temos aqui, então, dois eventos, e para o homem eles vão em primeiro ser meramente dois eventos e nada mais. Mas agora, suponha que ele começa a usar sua inteligência, e tenta impor alguma ordem ou arranjo nas circunstâncias nas quais ele encontra por si mesmo. Ele notou que há algo comum para os dois eventos, e também para o número de eventos intermediários, os quais nós não precisamos concernir a nós mesmos. Ele tem uma impressão de um "objeto" com faixas pretas e amarelas, o qual caracteriza o todo das séries de eventos com os quais nós estamos nos relacionando, uma "vespa." Ele agora tem a primeira das três entidades as quais nós supomos que eram suas percepções originais – matéria.

Mas isso não é o bastante. Se ele confina ele mesmo para o que é comum para os dois eventos, ele não vai ser capaz de distinguir eles, um do outro. Ele deve construir alguma outra relação entre eles. Ele faz isso dizendo que eles estão "em diferentes lugares": a flor é um "lugar," e a mão é outro. Deste modo ele forma uma idéia de lugar, e por estender a mesma relação para os outros eventos os quais ele percebe, ele se torna consciente do "espaço infinito." Matéria, espaço – são dois tipos de relação entre eventos – tem surgido como concepção derivada de uma fonte comum – os eventos por eles mesmos.

São essas concepções suficientes para permitir nosso observador pensar claramente e compreender o mundo em volta dele? Não totalmente: matéria e espaço não vão relatar todos os eventos os quais ele percebe. Considere um terceiro evento: suponha que ele sente uma

sensação dolorosa na sua mão. Como pode ele relatar isso para o segundo dos eventos que nós temos já considerado – a chegada da vespa em sua mão? As relações de espaço são as mesmas – se nós fazemos a legítima suposição que não há movimento entre os dois eventos. As relações materiais são as mesmas – a vespa e a mão. Ele deve encontrar um terceiro tipo de relação. Ele então diz que um dos eventos ocorre "antes" do outro. Generalizando essa relação, ele forma a concepção de "tempo."

Matéria, espaço, e tempo, então, de acordo com a relatividade, são tipos de relação entre eventos. Juntos eles mostram-se capazes de relatar o todo da Natureza inanimada num modo consistente e ordenado. Nosso visitante emprega eles por propósitos de pensamento; ele trabalha disponível descendo eles para seus sucessores, geração pós geração, até, ultimamente, eles virem a ser considerados como as percepções fundamentais da mente humana, e o pobre evento, o pai legítimo de todos eles, afunda para o ranque de um dependente.

Essa idéia de caractere derivado de matéria, espaço, e tempo pertencem ao coração do moderno princípio da relatividade. Ela merece ênfase particular, para, se isso é uma vez firmemente agarrado, a maior parte da dificuldade do assunto desaparece. Esse é o evento que é a imediata entidade da percepção; Natureza é a soma total de eventos, e todo instrumento de pensamento que nossas mentes empregam podem ser localizada de volta para essa origem ultimato nos eventos. Dois observadores da Natureza vêem, não necessariamente a mesma matéria, mas os mesmos eventos, porque os eventos finalmente constituem o mundo físico externo. Qual sobre o espacial, temporal, e material relações os observadores impõe nos eventos: vão ser eles os mesmos? Evidentemente isso não é necessário que eles devam ser. Nós não estamos certos em dizer, sem teste experimental, que um homem na Terra e um homem em Marte, diz, que estão se movendo relativamente um para o outro, ambos declararão Rua de Regente para estar uma milha longe. O que eles podem ambos ser imediatamente cientes de que são os dois eventos os quais são a existência dos dois fins da rua durante sua percepção deles. Se um homem relata eles espacialmente dizendo que eles estão uma meia milha separados, não há fundamental necessidade, tão longe como nós conhecemos, para o outro homem fazer o mesmo. Isso é essencialmente uma questão para experimento.

Deixe-nos ilustrar esse ponto, o qual é de básica importância, por um exemplo – o qual, contudo, não deva ser pressionado também fim. Considere dois eventos: primeiro, um homem jovem vê um a dama jovem; segundo, ele mostra sinais de agitação. Considere, futuramente, dois observadores desses eventos – o próprio homem jovem e outra dama jovem. Cada um deles relata os eventos de certa forma. O homem jovem chama sua relação, "amor", a segunda mulher jovem – supondo que ela é honesta com ela mesma – chama sua relação "ciumento." Aqui, então, nós temos um tipo de relação entre eventos os quais nós definitivamente reconhecemos como relativos. Como isso é então? Nós não sabemos: isso é um completo mistério. Mas nós certamente fazemos saber que os eventos são relatados diferentemente por diferentes pessoas. Não pode, então, as relações de espaço e tempo também serem relativas? "Ah!" você exclama, "mas os dois observadores no seu exemplo estão em diferentes circunstâncias. Eles têm diferentes predisposições, diferentes histórias, diferentes estados emocionais. Conseqüentemente, suas relações emocionais entre os eventos vai inevitavelmente ser diferentes. Mas espaço e tempo são independentes de nossas predisposições, nossas histórias, nossos estados emocionais. Eles estão em um inteiramente diferente piso." Isso é bastante verdade: espaço e tempo não mudam com nossas emoções. Mas isso não permite seguir o que eles não fazem mudar com qualquer coisa. Emoções são relativas porque elas dependem no nosso estado emocional. Não podem espaço e tempo depender de nosso estado espaço-temporal? Eles não podem ser modificados por movimento, por exemplo, por uma mudança de nossa posição no espaço como nossa posição no tempo avança? Isso parece ser possível, em qualquer taxa. Se eu estou me movendo relativamente para você, isso não faz parecer ser imperativo que minhas relações especiais e minhas relações

temporais, entre os eventos que são observados por ambos de nós, devem ser o mesmo como seus. “Mas,” você responde, “isso é desocupado para conversar do que parece ser possível. Isso não é um fato que não há tal diferença entre nós? Se meu relógio não faz manter sentido de tempo solar quando eu estou em um trem expresso, não tenho eu legitimado terreno de reclamar meu marcador de relógio? Se a estrada se torna distante ou curta quando eu estou viajando junto com isso em um ônibus, não devem meus hábitos justamente ser abertos para suspeita? Você pode estar certo com suas possibilidades, mas a experiência mostra que eles não são atuais.” Mas então, depois de tudo, experiência tem suas limitações. Talvez, numa viajam de Londres a Manchester, seu relógio mantém o tempo “perfeito”, tão longe como você pode julgar: isso pode ainda ter variado por uma quantidade tão pequena para você detectar. Se você pode viajar a mesma velocidade por 100,000 anos, ou se você pode mover-se na velocidade de 100,000 milhas por um segundo, você não pode estender sua experiência mostra que a conclusão anterior era tão rápida? Experiência é certamente o julgamento final no caso antes de nós, mas isso dá um veredicto estritamente de acordo com os fatos nessa possessão. Se nós desejamos conseguir na verdade, nós devemos extrair todos os fatos.

A questão, então, desce para isso: Nós podemos fazer um experimento que vai decidir definitivamente se espaço e tempo são diferentes para observadores em movimento relativo? Tal como um experimento não é inconcebível, mas isso vai ser um de colossal dificuldade. No presente, todos nós podemos esperar para fazer está para ver se há qualquer fato o qual recebe uma simples explicação se nós assumimos a relatividade do tempo e espaço, mas o qual pode ser interpretado apenas com dificuldade, ou não em tudo, se essas relações são absolutas. Agora fatos desse tipo são apresentados para nós no experimento de Michelson-Morley, e nas outras tentativas para observar a direção da matéria através do éter. Eles estão para ser encontrados também em certas observações astronômicas, para as quais nós devemos nos referir depois. A teoria da relatividade, de fato, tem passado com honras todo teste disso tem tão distante sido encontrada possível de se aplicar. Isso é apenas a ausência de confirmação experimental direta que previne isso de sendo reconhecida como uma lei comprovada do Universo.

Nós devemos considerar a natureza precisa da relatividade no próximo capítulo, mas isso será útil para declarar de uma vez o tipo de efeito que a relatividade requer. A tabela oposta mostra a perda de um relógio durante um dia, e a abreviação de um I-chute de regra na direção do movimento, como eles vão aparecer para um observador movendo relativamente para eles em diferentes velocidades, que testam eles pelos instrumentos padrão movendo-se nele.[1]

[1]Como nós temos dito, o princípio do qual esses resultados são obtidos vão ser declarados no próximo capítulo. O leitor, contudo, pode, nesse ponto, ser um tanto curioso como para essa natureza. Nós vamos, então, dizer em avanço que a teoria da relatividade assume que isso é impossível por qualquer observador sempre para obter evidência experimental de movimento relativo entre matéria e éter. Esse sentido (obs. o experimento de Michelson-Morley) que todos os observadores, não importando seu estado de movimento relativo, vão

TABELA I.

Velocidade	Exemplo na natureza	Perda do relógio por dia.	Abreviação da regra do I-pé
60 milhas por hora. .	Trem expresso	1/3,000,000,000 segundos.	1/20,000,000,000,000 polegadas.
67,000 milhas por hora . .	Velocidade da Terra em volta do Sol.	1/2300 segundo.	1/17,000,000 polegadas.
700,000 milhas por	Velocidade da estrela	1/20 segundo.	1/144, 000

hora . .	Arturus relativa a Terra.		polegadas.
93,000 milhas por segundo .	Metade da velocidade da luz.	3 horas e 10 min.	I 3/6 polegadas.
161,000 milhas por segundo	-	12 horas.	6 polegadas.
186,000 milhas por segundo	Velocidade da luz.	24 horas.	12 polegadas.

Isso é claro agora porque a relatividade do espaço e tempo, se isso é verdade, não declarar por si mesma como a muito tempo atrás. O efeito é tão pequeno para velocidades as quais nós ordinariamente usamos que isso é bastante impossível de detectar. Altas velocidades, ou observações estendendo sobre longos períodos, são necessariamente a'ntes dessa importância começar a aparecer.

Nós temos ainda para considerar que a natureza da matéria. Isso também é relativo? Se duas das primárias relações entre eventos variam com o observador, isso parece provável que o terceiro vai fazer assim também. Como uma matéria de fato, o princípio da relatividade requer que ali deva ser uma mudança na matéria surgindo do movimento. A quantidade de matéria num corpo (não seu "tamanho," o qual é um atributo de espaço, mas a quantidade atual de matéria nisso; ao que nós chamamos isso de "massa," e normalmente medida por peso do corpo) deve ser diferente para diferentes observadores movendo-se relativamente para um outro. Ou

obter a mesma medida da medida da velocidade da luz. Tal um resultado pode apenas ocorrer se os espaços e tempos usados pelos observadores são relatados para um modo particular, o qual, garantido o princípio, está com prazer determinado pelo cálculo matemático. Assim, para um observador hipotético em Arturus, um raio de luz vai viajar a $\frac{1}{144000}$ polegadas por pé menos que o mesmo raio para um observador na Terra. Mas o observador anterior vai encontrar que isso faz então em um período de tempo menor que o medido pelo homem a Terra pelo $\frac{1}{30}$ º segundo por dia. Esses números são tais que ambos os observadores obtém o mesmo valor para a velocidade do raio, e são apenas uns que são consistentes com a aplicação do mesmo princípio para todas as velocidades relativas.

em outras palavras , se um corpo movido com velocidade gradualmente crescendo relativa a nós, nós devemos encontrar que sua massa, supondo que nós podemos medi-la, vai crescer continuamente.[1]

Agora isso, novamente, parece primeiramente ser contrário a experiência. Do tempo de Lavoisier, no século dezoito, ao menos, a invariabilidade da massa tem sido uma das doutrinas cardinais da química e física, e experiência tem tendido consistentemente a confirmar isso. Isso pode de modo concebível ser uma ilusão? Aqui, como antes, nós devemos entender claramente o que a experiência mostra. Tudo o que nós podemos corretamente deduzir dos experimentos os quais apóiam a lei de invariabilidade da massa é que, sob as condições particulares dessas experimentos, a massa de um corpo não varia por qualquer quantidade que nós podemos medir. O caso pode ser totalmente diferente se nós temos instrumentos de muito maior

[1] A massa de um corpo, como nós futuramente veremos no Capítulo VI, é a resistência que o corpo oferece para mudança de velocidade. Se essa resistência permanece constante, então qualquer força capaz de aumentar a velocidade em tudo vai, se isso continua agindo, ir em acréscimo isso indefinidamente. Do ponto de vista da relatividade, contudo, isso é impossível, porque, como no experimento de Michelson-Morley, espaço e tempo ajustam eles mesmos assim como para fazer a velocidade da luz a mais alta velocidade relativa possível entre dois corpos. (Veja também Capítulo IV.) Conseqüentemente, resistência para mudança de velocidade (por exemplo, massa) deve crescer como a velocidade cresce, de algum modo o qual vai permitir desse apropriado

infinito da mudança necessária quando a velocidade da luz é alcançada. O cálculo da mudança necessária é uma simples peça da matemática, e dá o resultado incorporado na Tabela 2.

precisão, ou se nós podemos comparar a massa de um corpo em repouso com sua massa quando se movendo em uma velocidade extremamente alta. Como o tempo e espaço, as demandas da relatividade são tão humildes em velocidades ordinárias que elas podem ser garantidas por completo sem dar a nós a menor suspeita que elas são feitas. Como o corpo move mais rapidamente e mais rapidamente, a teoria recolhe confiança, e pergunta para mias e mais. A tabela 2 mostra, para as mesmas velocidades de antes, o acréscimo na massa de um corpo contendo I lb. De matéria quando ela está em repouso com relação ao observador.

TABELA 2.

Velocidade.	Aumento de Massa.
60 milhas por hora	1/250,000,000,000,000 lb.
67,000 milhas por hora	1/200,000,000 lb.
700,000 milhas por hora	1/1,780,000 lb.
93,000 milhas por segundo	1/6 lb.
161,000 milhas por segundo	I lb.
186,000 milhas por segundo	Infinitamente grande

Nós podemos testar isso por experimento? Isso é extremamente difícil. Nós devemos contar novamente na evidência indireta. Natureza tem sido incluído possível para medir sua massa em diferentes taxas de movimento. O resultado é que eles realmente mostram a mudança da massa com a velocidade, ou só a quantidade requerida pela teoria. Mais ainda, resultados teóricos deduzem da suposição da qual uma mudança quando esses corpos movem-se dentro de átomos materiais, tem sido verificado com quase incrível precisão. A teoria novamente tem sido bem sucedida em todo teste para o qual isso tem sido sujeitado. Mas nós devemos considerar que esses são casos altamente especiais, As partículas são eletricamente carregadas – elas são acreditadas, de fato, para serem partículas de eletricidade por si mesmas – e os efeitos observados podem ser explicados igualmente bem na teoria ordinária eletromagnética, sem referência a relatividade. Nós não podemos, então, por elas adiante como evidência inequívoca para relatividade. Mas nós podemos dizer que, tão longe como o experimento tem ainda ido, não há nada que tem posto a teoria na mais leve dificuldade, ou necessitada de qualquer modificação de seus princípios fundamentais.

Deixe-nos ver, então, apenas onde nós sustentamos. Nós temos dito que, desde que o único elemento na Natureza é o evento, espaço, tempo, e matéria pode ser relativo ao observador. Nós temos considerado experimentos os quais parece fazer isso muito provável que eles são relativos. Isso permanece para nós agora para investigar os princípios governando a magnitude de sua variação com mudança de velocidade. Isso é para essa questão que nós tornamos no próximo capítulo.

CAPÍTULO III

AS “QUATRO DIMENSIONAIS CONTÍNUOS”

Isso já tem sido apontado fora – e isso é assim importante que isso vai agüentar repetição – que o princípio da relatividade é a dedução dos fatos da observação. Isso não é enfaticamente uma poltrona doutrina, prosseguindo dos processos internos no cérebro sem referência aos resultados da experiência. Quando os modernos relativistas dizem que o espaço, tempo, e matéria são idéias diferentes de diferentes observadores, ele faz então porque ele acredita que a interpretação dos fatos experimentais os quais através disso se tornam possíveis é o mais simples e, no todo, o mais plausível que ele pode planejar. Conseqüentemente, ele não está contente com a mera declaração que essas relações mudam com um estado de emoção. Ele deve dizer exatamente por como muito eles mudam. Como ele implica no primeiro capítulo, se uma jarda e uma hora para um observador se torna um comprimento bastante indiscriminado e tempo para outro, qualquer coisa pode acontecer: coisas particulares acontecem – por exemplo, o experimenrto de Michelson-Morley. A magnitude de uma jarda e a hora do segundo observador deve ser tal como para explicar essas coisas particulares, e não podem ser algo mais.

O lado numérico da teoria da relatividade é derivado da falência de todas as tentativas para detectar o movimento relativo da matéria e do éter. O relativista assume que, na natureza das coisas, isso é impossível de se observar tal movimento; em outras palavras, que o espaço e tempo mudam com o movimento em tal modo como sempre através do éter igual a nada. Se isso é garantido, o cálculo da mudança necessária muda torna-se uma peça simples de matemática.

Nós estamos nos esforçando nesse livro para esvaziar o uso de formula matemática geral. Nós devemos, então, não dar as expressões teóricas para a dependência do tempo, espaço, e unidades de massa de velocidade. O leitor que está interessado nesse lado da questão pode encontrar eles em qualquer das mais técnicas exposições do princípio. Nós chamamos atenção preferencialmente para a Tabela 1 e 2 no Capítulo II, da qual a maioria dos fatos essenciais podem ser entendidos bastante tão bem como da expressões gerais. Vai ser observado em uma vez que, até a velocidade relativa alcançar um valor muito alto, a mudança é quase infinitamente pequena. Como a velocidade cresce, contudo, a mudança cresce na

mesma taxa rápida, até, na velocidade da luz, o estado de assuntos vai aparecer ser inconcebível.

Nós devemos retornar para esse ponto no próximo capítulo. Para o momento nós vamos dirigir nossa atenção para uma relação muito simples entre o espaço e tempo usado por qualquer um observador – uma relação a qual resume os requerimentos quantitativos do princípio. Isso não é trazido fora nas tabelas, e, como isso é de muita importância, nós vamos dar com isso em longitude.

Tudo o que nós temos tentado obter no sentido da relatividade tem, em uma vez ou outra, vindo através da bendita frase. "os quatro dimensionais contínuos." O que isso significa? Deixe-nos ser bem claros, primeiro de tudo, como para o significado da palavra "dimensão." Suponha que uma lâmpada elétrica esférica está suspensa em algum lugar no seu interior. Como nós podemos descrever – para um arquiteto, digo – a posição exata do globo na sala? (Nós não estamos concernindo nós mesmos agora com a questão do que nós significamos por "posição," a qual ocupa-nos no último capítulo. Nós estamos usando a palavra no seu ordinário, sentido cotidiano, só como nós podemos ter feito se nós não tivéssemos tido razão para duvidar da natureza absoluta do espaço.) Nós devemos dizer a ele algo sobre isso se nós dizemos que o globo tem 7 pés sobre o solo. Mas isso não vai ser bastante. Se o que era tudo, o globo pode estar em qualquer lugar em um chão movível colocado nessa altura. Suponha, então, nós dizemos, mais futuramente, que isso está 6 pés da parede contendo o chão. Que é melhor, mas ainda ele não está satisfeito. Ali pode ser uma linha toda de objetos no nosso chão movível imaginário o qual satisfaz a condição, e o globo pode o qual satisfaz a condição, e o globo pode estar em qualquer ponto nisso. Mas deixe-nos agora dizer que ele está a 5 pés da parede adjacente contendo a janela. Nós temos então determinado sua posição completamente. Há apenas um ponto na linha que está a 5 pés da parede contendo a janela: ou, em outras palavras, há apenas um ponto na sala que está a 7 pés sobre o chão, 6 pés de uma parede especificada, e 5 pés do outro. Nós temos definitivamente fixado a posição do globo por essas medidas.

Agora há outros modos nos quais nós podemos ter feito isso, mas, em todos deles, três medições são necessárias e suficientes. Outro aspecto da mesma propriedade do espaço é incorporado na declaração dessas três medidas independentes são necessárias para calcular o volume espacial ocupado por um corpo – por exemplo, largura, e altura.

Três medições independentes, nós dizemos, vão definir a posição de um corpo em relação a uma dada estrutura (por exemplo, uma sala), e essas três medições podem ser feitas em diferentes modos. Nós devemos agora apontar fora disso, em não importando o modo como são feitos, há certa relação entre eles que é sempre satisfeita. Deixe as linhas contínuas na Fig.2 indicar o chão e as duas paredes da sala com a qual nós estamos relacionando, e deixe o globo ser suspenso nas posições definidas, A. Isso
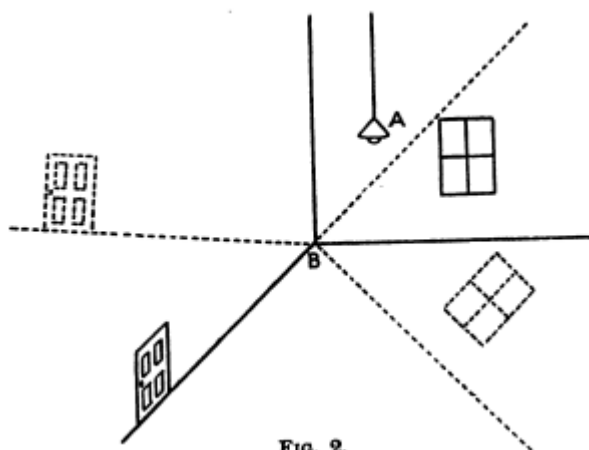
FIG. 2.

vai ser 7, 6, e 5 pés dos planos respectivos de referência. Isso é facilmente provado que a distância do globo, A, para a esquina, B, na qual esses três planos se encontram, é obtida pela adição junto com as três quantidades, 7^2, 6^2, 5^2, e encontrando a raiz quadrada da soma. Assim, $7^2 + 6^2 + 5^2$ – IIO, e a raiz quadrada de IO$\frac{1}{2}$ pés da esquina, B. Agora suponha – como o resultado de um terremoto, digo – a sala é entortada dentro da posição mostrada pelas linhas pontilhadas na figura, em um tal modo que os pontos A e B fica em exatamente a mesma posição que antes. A distância AB vai então ser inalterada – sobre IO$\frac{1}{2}$ pés. Mas as distâncias da lâmpada das paredes e do chão irá agora ser bastante diferentes. Ainda – e isso é o ponto que nós estamos tentando ilustrar – desde que as paredes e o piso ainda permaneçam nos ângulos direito para um outro, essas distâncias devem ser tal que a soma de suas raízes é igual a IIO. Assim, se a lâmpada está a 9 pés e 5 pés das duas paredes, para 9^2+5^2+2^2=IIO. Isso não pode possivelmente estar em qualquer outra distância, contudo a sala está entortada dentro das restrições que nós temos mencionado.

Agora nós não precisamos ter tido o terremoto para alterar a posição da sala. Nós podemos ter imaginado as paredes e o chão para estar em qualquer lugar que nós ligamos, e definida a posição do globo relativa ao ponto B pela referência para a sala imaginária. Ou, sem supor a sala torcida em tudo, nós podemos ter fixado a posição pelas três outras medições de um diferente tipo, há um modo definido de combinar as medições assim como para dar o número IIO, e as medições estão limitadas para ser relacionada entre elas mesmas assim que a combinação vai dar esse número.

Para resumir, então, a declaração que espaço tem três dimensões implica em duas coisas: primeiro, três medições independentes são necessárias para fixar um ponto relativo a outro; segundo, não importando sempre três medições nós selecionamos para esse propósito, há uma certa combinação deles que é a mesma para todas as seleções.

Comportando isso em mente, nós agora estamos em uma posição para entender o que um quatro dimensionais contínuos são. Nós repetimos que, em tudo que nós temos dito sobre as três dimensões do espaço, nós temos estado falando nos termos de espaço absoluto. Nós temos suposto que as distâncias 7, 6, 5 pés e o número IIO tem o mesmo valor para todos os observadores. Do ponto de vista da relatividade, como nós sabemos, isso é apenas verdade tão longo como nós estamos em repouso na sala. Se nós começamos a mover, a distância muda, e nossa medição do tempo muda também. Na vista da constância do número IIO, não importa as alterações que tomam lugar nas medições separadas em nosso suposto espaço absoluto, isso é talvez natural para investigação se há qualquer caminho de combinação de nosso novo espaço e nova medição de tempo, não importa o que elas possam ser, em tal modo como para obter o mesmo resultado como que dado pela correspondente combinação de nosso velho espaço e velhas medições de tempo. Como uma questão de fato, há uma tal combinação.

Para ilustrar isso, nós devemos escolher dois eventos ao invés de dois pontos, A e B, para, dar com tempo, nós devemos introduzir algo contendo a qualidade temporal. Realmente, a existência percebida do canto e a lâmpada são eventos, para percepção de si mesma toma tempo. Isso vai simplificar matérias, contudo, se nossos dados são mais prontamente reconhecidos como eventos. Deixe-nos considerar o intervalo total (o qual nós normalmente analisamos dentro do intervalo de espaço e tempo) entre a luz da lâmpada. A, e a chegada de uma aranha no canto, B. Suponha primeiro, que nós estamos em repouso na sala. Então o quadrado da distância espacial entre esses dois eventos é, como nós temos visto, 7^2+6^2+5^2, por exemplo, IIO. Suponha o intervalo de tempo é IO unidades;[1] assim que a raiz é IOO. A diferença entre os quadrados dos intervalos de espaço e tempo (os quais, nós devemos logo ver, é uma quantidade importante) vai então ser 7^2+6^2+5^2-IO^2=IIO-IOO=IO. Agora considere como os eventos vão aparecer para nós se nós estamos nos movendo relativamente para a sala. Como nós sabemos, ambos o intervalo de espaço e o intervalo de tempo vão ser diferentes. Suponha nossa velocidade para ser tal como para dar a nós o intervalo de espaço de 9 pés entre os

eventos. O que vai o intervalo de tempo ser? Isso é encontrado que isso deve ser apenas grande o bastante para sua raiz para diferir do quadrado do intervalo de espaço por exatamente a mesma quantidade (chamada, IO) como no caso anterior. Isso deve então ser proximamente a $8\frac{1}{2}$ unidades,

[1] A magnitude de uma unidade de tempo para esse propósito é um mil milionésimos de um segundo.

para 9^2-$(8\frac{1}{2})^2$=IO, muito proximamente. E, contudo nós movemos, essa condição deve sempre ser satisfeita. [1]

E que é tudo que os quatro dimensionais contínuos significam. Não há nada essencialmente misterioso sobre isso. O pânico mental que isso as vezes cria parece surgir da completa ilusão que há realmente uma quarta dimensão no espaço – um tipo de direção adicional de extensão espacial, da qual nós podemos obter experiência se nós possuímos um senso adicional. Na realidade, a quarta dimensão não existe, exceto como uma expressão acadêmica de nossa experiência familiar de tempo. Nada existe fundamentalmente mas eventos. Não é verdade dizer que eles tomam lugar num quatro dimensionais contínuos. Estritamente falando, eles não tomam lugar em tudo: eles simplesmente existem neles mesmos. Nós não dizemos que a Natureza "toma lugar," e Natureza é simplesmente o agregado de eventos. Os quatro dimensionais contínuos é meramente a estenografia do matemático modo de dizer, primeiro, que quatro medições são necessárias para definir o intervalo completo entre dois eventos, e segundo,

[1]Estritamente falando, essa combinação particular – (intervalo de espaço)^2 – (intervalo de tempo)^2 – é variante somente no livre espaço. Nas redondezas de corpos pesados – ou, para uso de linguagem científica, nos campos de força gravitacional – uma mais leve combinação diferente deve ser tomada. Isso vai ser negociado com em um capítulo mais adiante. Em todas as circunstâncias, a declaração geral – que há uma combinação particular de quatro medidas que é constante para todos os observadores – é estritamente verdade.

que uma certa combinação de quatro medições é constante para todos os observadores, não importando seus espaços e tempos possam ser. Isso não tem outro sentido físico. Isso deriva seu nome simplesmente por analogia para as familiares três dimensões do espaço.

Nós temos habitado em detalhes nesse ponto, porque um grande negócio do terror inspirado pela idéia de relatividade é devido a idéias erradas preliminares. A teoria está aproximando como se isso era algo bastante exterior do escopo de inteligência ordinária e experiência diária. Isso não pode ser dito tão muitas vezes que isso é um completo engano. A única razão a qual os efeitos práticos do princípio (supondo isso ser verdade) não era reconhecido há muito tempo atrás é que eles são excessivamente pequeno – não em tudo que eles requerem novos órgãos de sentido e inteligência. Se isso é uma vez perfeitamente entendido, o assunto vai perder sua aparência esotérica e começa a ser instrutivo.

CAPÍTULO IV

A VELOCIDADE DA LUZ

Nós já temos chamado atenção para as consideráveis propriedades as quais parecem ser possuídas pela velocidade da luz. Suponha que nós temos dois observadores, A e B, movendo-se relativamente para outro com essa velocidade. As tabelas 1 e 2 mostram-nos o que esperar. Isso vai aparecer que evento separado por um intervalo de tempo finito para AB vai ser simultâneos para B. Por desde então, sob essas condições, o relógio B vai perder vinte e quatro horas em um dos dias de A (veja Tabela 1), tempo vai aparecer para colocar ainda por B, e o completo do mundo de A – passado, presente, e futuro – vai ser concentrado a percepção de B em um momento de tempo. As relações de A e B são, com certeza, recíprocas, para isso é só como verdade para dizer que A está se movendo relativamente para B como para dizer que B está se movendo relativamente para A. Conseqüentemente, o mundo de B está apresentado instantaneamente para A também. Nossos observadores, então, vão aparecer cada para habitar um mundo duplo de eventos: um mundo é percebido instantaneamente, e o outro alcança através do tempo.

Isso é muito interessante para pensar que o panorama completo da história do mundo – do amanhecer das coisas criadas para o último pôr do sol do tempo – pode ser suplicado para cima para nossa inspeção, se apenas nós podemos mover ao passado isso rapidamente basta. Como toda boa coisa, contudo, a realização de tal uma esperança herda algumas condições compensatórias. Nós não dizemos nada para o momento sobre a dificuldade de realizar os requisitos relativos a velocidade, ou dos perceptíveis eventos terrestres claramente quando isso é atingido. Mas isso deve ser apontado fora dessa a percepção, supondo que isso era possível, vai ocupar, mas um instante de nosso tempo – uma duração tão pequena que nossas preguiçosas inteligências vão ser incapazes para aprender isso. Mais ainda, a figura apresenta um aspecto muito diferentes dessa a qual nós estamos acostumados. De acordo com a Tabela 1, a dimensão de todo objeto material na direção do movimento relativo vai ser nada. O mundo instantâneo vai consistir de uma coleção de objetos planos, não tendo grossura em tudo.

O historiador, então, não tem grande incentivo para estudar a produção de altas velocidades. Mas o economista parece estar em melhor caso. Isso parece da Tabela 2 que se matéria move ao passado ele com suficiente velocidade, isso pode aumentar seu conteúdo para qualquer quantidade desejada. A viúva não mais muito tempo precisa de um Elias para conservar suas provisões; se ela aceita para as condições, Maskelyne pode fazer isso. Mas aqui de novo, o prestidigitando demônio da relatividade não está para ser acreditado. Eles podem manter o mundo de promessa ao nosso ouvido; eles vão certamente quebrar isso para nossa esperança. A "massa" que cresce com velocidade não é "tamanho"; o tamanho da matéria, de fato diminui, devido a abreviação na direção do movimento. O que massa realmente significa (veja Capítulo VI) é inércia, ou resistência de matéria para mudança de movimento. Assim que, toda essa Tabela 2 implica que o mais rapidamente um corpo move-se passa um observador, o mais difícil faz isso se tornar aumentado a velocidade relativa: o corpo por si mesmo se torna menor e menor todo o tempo.

Do ponto de vista prático, então, quaisquer antecipações de crescimento riqueza ou ordens novas de experiência que a teoria possa ter estimulado, são provável para encontrar com desapontamento. Isso pode, contudo, ser algum consolo para o intelecto saber que isso não está chamado em para entender a possibilidade de tais antecipações. Mas nós temos ainda indicado outra propriedade dessa considerável velocidade da luz: essa é a mais alta velocidade que um corpo pode ter relativo a outro – uma natural máxima de velocidade, para exceder a qual é para sempre impossível. Deixe-nos olhar uma vez mais na tabela 2. Na velocidade da luz nós vemos que a massa de um corpo é "infinitamente grande." Lembrando que "massa" significa resistência para mudança de movimento, isso segue que há uma resistência infinitamente grande para a mudança de velocidade de um corpo movendo-se com a velocidade crítica. Não apenas pode um corpo nunca exceder essa velocidade. Se isso apenas alcança isso, para a resistência pela *mudança* de movimento é tão grande em uma direção como na outra. A velocidade relativa do corpo é fixada.

Agora ali aparece para ser uma objeção óbvia para isso. Suponha um corpo está se movendo ao passado a mim com a velocidade da luz. Se eu começo a mover na mesma direção, eu faço não faço decrescer nossa velocidade relativa? Ou, se eu movo na direção oposta, eu não posso acrescentar isso? A resposta em cada caso é não. Quando eu começo a mover, meu espaço e tempo altera, e minha nova medida da velocidade relativa, com minha nova medida da velocidade relativa, com meu novo espaço e tempo, é exatamente o mesmo que a velha medida, com o velho espaço e tempo. Em não importando a velocidade que eu me movo, o resultado é o mesmo. Isso é, de fato, a essência do experimento de Michelson-Morley, no qual luz movida relativamente para o observador com exatamente a mesma velocidade, no não importando a direção que isso está viajando, ou, entretanto a terra estava se movendo.

Tudo isso segue, como nós temos dito mais que uma vez, da falha experimental para detectar qualquer mudança em tudo na velocidade medida da luz, aparecendo do movimento do observador, e a assunção que sem tal mudança existe. Isso é aterrado na atual experiência física. Einstein tinha ido um passo futuro, e tinha tentado deduzir do significado do termo "simultaneidade." Ele apontou fora que quando nós dizemos que duas coisas acontecem "ao mesmo tempo," nós podemos ter uma idéia geral do que nós pensamos, mas nós devemos ser nas dificuldades se nós éramos perguntados para dar uma explicação rígida da frase. Na luz da teoria da relatividade, ele sugere uma definição nas seguintes linhas. Suponha que nós temos dois eventos, e um observador situado no meio do caminho em sua distância espacial entre eles. Suponha sinais de luz alcançando o observador de dois eventos ao mesmo tempo. Então, de acordo com Einstein, os dois eventos por eles mesmos são simultâneos. Para um outro observador, em movimento relativo ao primeiro, os eventos não vão necessariamente ser simultâneos, porque os mesmos sinais de luz podem alcançar ele, no meio ponto da distância espacial, em diferentes tempos. Isso, isso deve ser notado, não é uma coisa para ser provada. É uma definição, não uma proposição. Se nós estávamos tentando testar isso, nós devemos requerer alguns sentidos de determinando se os dois eventos realmente eram simultâneos, e

nós não podemos fazer isso sem conhecimento que a simultaneidade dos eventos significam, por exemplo, sem cair de volta na declaração por si mesma. Também, isso não é uma definição completa filosófica de simultaneidade. Isso pode apenas ser aplicado para eventos separados no espaço do observador, e isso assume, mais ainda, que o observador sabe o que ele quer dizer quando ele diz os sinais luminosos que alcança ele "ao mesmo tempo."

Esse livro está concernido somente com ciência experimental e suas lições. Nós devemos, então, não possuir a presente linha de pensamento, a qual entra a área delimitada da metafísica. Todavia, para o objetivo de integridade, isso deve talvez ser declarado que a escolha dos sinais de luz para o propósito da definição vai levemente além de justificação experimental. A escolha é feita, com certeza, na ordem que a aplicação da definição deve dar as propriedades peculiares da velocidade da luz que a teoria da relatividade requer. Mas nós não podemos ser bastante seguros se essas propriedades pertencem a atual velocidade da luz a qual a magnitude é tão fechada para isso para ser distinguida pelos experimentos nos quais a teoria está fundada. A possibilidade futura é favorecida por Whitehead. Seus motivos são, no principal, filosófico, e então não faz cair dentro de nosso escopo. Para descrição geral, isso é suficiente para indicar que há uma velocidade peculiar, muito próxima a essa da luz, a qual não pode possivelmente ser excedida por qualquer corpo relativo a qualquer outro.

PARTE II

AS LEIS DA NATUREZA

CAPÍTULO V

O QUE É UMA LEI NATURAL?

Bem no começo da investigação científica posiciona na assunção que Natureza trabalha num caminho ordenado. O alvo do cientista é expressar, no como simples uma declaração como possível, os princípios base a ordem e planos de fenômeno. Para fazer isso, ele tem que observar o que a Natureza faz. Ele pode provocar ela de várias maneiras, e de sua resposta ele pode puxar certas conclusões nos termos os quais ele acredita que vai ser entendido por todos – em termos, até aqui, de matéria, espaço, e tempo.

Havia um período na história científica quando ela foi pensada que o completo mundo de experiência possível pode ser descrito sem ir além dessas três idéias fundamentais. Isso era esperado que uma lei que aceita tudo, expressando a relação da matéria para tempo e espaço (ou, em outras palavras, os movimentos de matéria), vai ser a completa e última recompensa do físico – uma lei da qual o todo da história física, através da infinidade do espaço, vai lançar e correr seu curso inevitável de era em era.

Essa esperança passou longe. Havia ações da Natureza que não ia ser pressionados dentro dos limites de uma tal lei. Um éter parecia inevitável: luz, eletricidade – esses não eram para ser feitos subordinados a matéria e movimento; eles demandavam um status de seu próprio. Separado no geral dos fatos espirituais (com os quais nós não estamos concernido em qualquer parte desse livro), um estrito materialismo era encontrado para ser frouxo. Como uma matéria de fato, ali nunca era um tempo quando isso podia ser dito para ter triunfado: essa esperança, até quando brilhosa, era para o futuro. A lei Newtoniana da gravitação, da qual isso pula, demanda algo outro que matéria, espaço, e tempo; chamada, gravitação. Isso presumia uma força, a qual modificava os movimentos de matéria. Isso é verdade que o escopo universal dessa força fez isso parecer muito como essa que isso pertencia, de algum modo, para as qualidades essenciais da matéria por si mesma. Mas, até isso era provado, isso

não podia ser dito que a matéria e movimento tinha estabelecido seu balanço sobre o completo universo físico.

Isso não está sem regredir que um vê a falha de uma simples explicação das coisas. Para a mente que almeja na unificação do fenômeno, a descoberta de um novo elemento na Natureza traz desapontamento tão bem como elação. O progresso da física. Mas fatos são invencíveis. O progresso da física demandou a admissão que havia outras existências físicas que ali haviam outras existências físicas elem de matéria, tempo, e espaço. Não obstante, não havia necessidade de modificar idéias como para que fosse uma lei da Natureza. As novas entidades podiam manifestar elas mesmas apenas por seu efeito na matéria no espaço e tempo. Eletricidade, por exemplo, era, em si mesma, meramente uma hipótese – pensada, para fazer a declaração simples, isso era necessário para introduzir outras concepções.

O leitor vai estar preparado, pela primeira parte desse livro, para uma nova concepção de lei natural. Relatividade da o golpe de misericórdia para não importando o que pode permanecer da velha forma de materialismo. Não apenas faz isso fazer isso impossível para reduzir a Natureza para questão de emoção: isso faz a descrição do curso da Natureza nesses termos uma incompleta, e então uma falsa. O que tem até aqui sido chamada de uma lei da Natureza se torna uma lei de nosso aspecto particular da Natureza, a qual é apenas de um número infinito de aspectos. Espaço, tempo, e matéria são penetrados para ser um alfabeto inadequado para uma linguagem universal. Eles podem, ou não podem, ser capazes de formar todas as palavras que nós precisamos, mas há línguas cujos sons elas certamente não vão ajustar, como também como nossas, pertencendo a Natureza. Nós devemos ir de volta para os sons primitivos para a expressão de leis naturais. Nós podemos subseqüentemente falar eles para fora em nossos próprios caracteres para nosso uso especial, mas as leis elas mesmas devem ser universais.

Em outras palavras, os únicos termos possíveis para a declaração de uma lei da Natureza são eventos. Qualquer matéria-espaço temporal que é peculiar para um observador particular, e não tem isso exatamente equivalente nas relações para outros observadores, não é uma lei natural.

Relatividade demanda, então, uma revisão de leis existentes. Apenas essa as quais podem ser generalizadas no modo que nós sugerimos pode sobreviver; os outros devem ser falados novamente. Desde que isso é um costume inevitável de físicos para expressar suas conclusões na forma matemática, o teste deve ser um teste matemático. Nós então passamos sobre esses detalhes, os quais são de interesse apenas para o especialista. A idéia geral, contudo, nós esperamos ter sido feita claro.

O novo ponto de vista é de interesse especial porque isso sugere a possibilidade de uma unificação mais completa da Natureza que qualquer previamente imaginado. Com uma mão relativamente destrói o trono de matéria e movimento: Matéria, espaço, e tempo, até se eles podem ter explicado tudo na Natureza, eram, depois de tudo, três coisas independentes: os evento é uma coisa. Mas, como nós temos visto, as três coisas falharam: pode suceder uma coisa? Isso tem uma melhor chance, pela seguinte razão. Matéria, espaço, e tempo, quando eles eram pensados para ser fundamental, eram, nessa muita conta, incapaz de modificação para conhecer novas descobertas. Se eles fazem o inesperado, isso não era deles, mas algo de outra maneira, que era responsável. Eles eram absolutos, embalado na imutabilidade como em uma vestimenta impenetrável. Força tem que ser inventada; eletricidade, magnetismo eram postulados – tudo porque matéria, espaço, e tempo eram segurados para ser um capricho acima. Mas se nós começamos com o evento, há apenas uma divindade no nosso Olímpio. Matéria, espaço e tempo eram suas luzes quebradas, e não há sacrilégio em supor eles devedor para mudança. Conseqüentemente, o que nós anteriormente atribuímos para força podia talvez ser derivado de uma modificação do espaço ou tempo ou matéria – no qual caso, força pode ser dispensada com. Possivelmente, também, as outras estranhas entidades que nós temos chamado dentro sendo podem ser tratada num a mesma forma.

Isso deve particularmente ser notado que isso não é meramente suficiente para conceber a idéia desse gênero. Isso deve ser algo mais que uma possibilidade filosófica antes disso poder aplicar para reconhecimento como uma hipótese científica. Uma modificação particular, que vai calcular exatamente com o experimento, deve ser encontrada, e as novas leis, expressadas nos termos das relações modificadas, devem ser capazes de generalização assim como para incluir a experiência de todos os observadores, no modo que nós já temos apontado fora. Se essas condições não podem ser preenchidas, a unificação particular sugere que deve ser abandonada.

Nós podemos dizer de uma vez que isso tem sido encontrado possível para descrever o fenômeno da gravitação por certa modificação do espaço. Eletromagnetismo está sendo tratado da mesma forma, com todo prospecto de sucesso. Nós escolhemos o caso da gravitação para ilustrar o argumento que nós temos tentado desenvolver nesse capítulo. Declarações gerais são as vezes difíceis de seguir, e são devedoras para ser entendidas mal. O próximo capítulo, então, está devotado ao trabalho de Newton no movimento dos corpos, enquanto aquele sucedendo tenta explicar a atitude do relativista para os mesmos fatos.

CAPÍTULO VI

O TRABALHO DE NEWTON

Quando Newton começou seu trabalho, o tempo era maduro perfeito para uma grande generalização. Galileu tinha estudado a maneira na qual corpos na superfície da terra caiam para o chão, e tinha mostrado como as distâncias caíam através de crescimento com o passar do tempo. Kepler tinha sucedido, depois de muitas falhas, na expressão, em três famosas leis, como os planetas moviam-se em volta do Sol. A maneira na qual diferentes corpos moviam-se era conhecida com grande exatidão. O que era carente como uma coordenação entre a queda de um corpo para a Terra e a jornada de um planeta em volta do Sol.

Isso não era óbvio para tudo que tal uma coordenação era necessária. Um ia considerar o movimento elíptico da Terra e o movimento linear de uma pedra caindo como um fenômeno distinto. Para tentar obter atrás desses fatos era absurdo. Eles eram fatos de razão fundamental da Natureza.

Newton, contudo, consideraram eles em uma diferente luz. Matéria era matéria, e se isso se movia em um certo caminho em uma série de circunstâncias, e em um diferente modo em outra série, e não colocada na conta dos corpos em movimento. Nós devemos lembrar que Newton pensou nos termos de espaço absoluto, tempo, e matéria.

Desse ponto de vista ele era coberto com um duplo problema. Ele tinha, primeiro de tudo, para determinar o que era a tendência natural da matéria sem circunstâncias em tudo, por exemplo, quando isso era inteiramente não influenciado por qualquer coisa fora de si mesma; segundamente, ele tinha que considerar o efeito nessa tendência das várias circunstâncias ocorrendo na Natureza. Para a segunda tarefa ele era guiado por fatos observados: o efeito deve ser tal como para produzir o fenômeno que nós realmente encontramos. Mas para o primeiro ele tinha caído de volta em sua própria imaginação inspirada. Não havia experiência para guiá-lo, porque ele nunca pôde ser bastante seguro que qualquer movimento que ele observava era livre de influência externa.

Fazendo sua suposição fundamental, Newton tomou como seu ponto de partida a morte essencial, ou “inércia,” da matéria. Ele pôs adiante a hipótese que matéria por si mesma

não podia fazer nada para mudar seu estado de movimento. Se isso estava em repouso, isso ia permanecer em repouso até algo mover isso. Se isso estava se movendo, isso continuaria a mover-se, em exatamente a mesma direção, e com exatamente a mesma velocidade, até que isso fosse perturbado por agentes exteriores. Isso ele declarou a ser a condição natural da matéria, e qualquer partida de um corpo de um desses estados – de repouso ou de movimento uniforme em uma linha reta – era evidência que algo estava interferindo nisso. Para esse algo, não importa que mudança isso produziu, ele deu o nome de "força."

Nós devemos entender bastante claramente que "força," no sentido Newtoniano, não é uma coisa observada: isso é uma hipótese. O que nós observamos é uma mudança de movimento. De acordo com a suposição de Newton, essa mudança implica uma causa, e força é criada para ato a parte. Newton não descobriu a força; ele inventou-a. Ele era assim um liberdade para dar com isso como ele gostava. Ele pode definir essa magnitude em não importando forma melhor vestido dele – tão longo como esses efeitos calculados eram consistentes com os fatos. Ele jogou ele mesmo, então, para definir força em um tal modo que isso ia ser possível para encontrar uma força particular capaz de explicar, ao mesmo tempo, os movimentos dos corpos na Terra e nos Céus.

Agora desde que a força é a suposta causa de mudança de movimento de um corpo, isso deve ser medido em algum modo pela taxa na qual ela produz a mudança. Newton, ainda com seu único objeto em vista, tentou, primeiro de tudo, a mais simples definição possível. Ele presumiu força para ser realmente igual a taxa na qual ela muda o movimento. Mas ele reconheceu que ele ia provavelmente não alcançar muito sucesso com uma definição desse gênero, a menos que ele entendeu por movimento algo mais que mera velocidade. A idéia que a agência produzindo uma dada mudança de velocidade era da mesma magnitude, não importando o que era a massa do corpo movimentando, não aparecia muito promissor como a base de uma lei universal. Ele então definiu a quantidade de movimento de um corpo como o produto de sua "massa" e sua velocidade. Isso seguiu que a mudança de velocidade era maior, o menor a massa do corpo, a mudança de *movimento* sendo o mesmo em ambos os casos.

Isso era nesse modo o que a idéia de massa primeiro se tornou definida na física. Dessa derivação, seu significado é simplesmente inércia, ou resistência a mudança de velocidade. Desde que inércia é tomada para ser a propriedade fundamental da matéria, a massa de um corpo pode também ser interpretada como a quantidade nisso. O movimento do corpo, então, de acordo com Newton, surge da quantidade de matéria que isso contém e a velocidade com a qual isso está se movendo. Uma mudança em uma ou outra dessas coisas vai alterar o movimento e revelar a existência de uma força.

Experimentos posteriores mostraram que, para o grau de precisão atingível, a massa de um corpo nunca varia. Sua desintegração toma lugar, as somas das massas de várias partes eram sempre exatamente iguais a massa do corpo original, não importando o tratamento do corpo ou suas partes recebidas. Deste modo a idéia de matéria se tornas absoluta. Mudança de movimento foi devida inteiramente por mudança de velocidade, a massa permanecendo constante todo o tempo. A lei de Newton da força, então, chegou para a declaração que a força agindo em um corpo era igual ao produto da massa e a mudança da velocidade (ou, a "aceleração") a qual isso produziu.

Newton tinha agora com a condição que ele mesmo com leis gerais expressando os possíveis movimentos da matéria. Ele tinha depois aplicado elas para os fatos da Natureza, e viu se isso era possível para inventar uma única força que ia dar surgimento para os movimentos variados realmente observados. O problema não era fácil; ele requeria um Newton para resolvê-lo. Uma pedra caia em uma direção constante, mas com velocidade variada; a Terra rodava com velocidade quase uniforme, mas com mudança continua de direção. Mais ainda, um corpo pesado caía de um dado peso para a Terra ao mesmo tempo em que uma luz. Todos esses fatos experimentais tinham que ser resultado inevitável de uma simples hipótese.

Como qualquer um sabe, Newton estava quase completamente bem sucedido. Ele presumiu que, entre todas duas peças de matéria no Universo – ou, em qualquer taxa, em nosso próprio sistema solar – ali existia uma força de atração (gravitação) a qual era proporcional ao produto das massas dos dois corpos divididos pelo quadrado da distância entre eles. Essa força atuou em cada um dos corpos, puxando eles em direção um outro, com aceleração a qual, com certeza, dependida de suas massas. A força puxando a pedra para a Terra também puxava a Terra para a pedra, mas isso produzia uma distante maior aceleração na pedra que isso faz na Terra, porque da grande diferença entre as massas dos dois corpos. Todos os corpos na superfície da Terra, contudo, vão cair com a mesma aceleração. Por, suponha um corpo que tem duas vezes a massa do outro. A força puxando isso em direção a Terra vai então ser duas vezes a força puxando o segundo corpo em direção a Terra. Mas a resistência para a força (por exemplo, a massa) vai também ser duas vezes tão grande para o primeiro corpo como para o segundo. Conseqüentemente, a mesma aceleração vai ser produzida em ambos os corpos. Para explicar como os planetas não caem dentro do Sol se eles são atraídos por ele, isso foi necessário apenas supor que eles tinham algum movimento de si mesmos, independente do que produziu por gravitação. A força atrativa vai então realizar sua função por constantemente mudar a direção de movimento e, para uma menor extensão, a velocidade.

As leis de Newton de movimento e gravitação têm sido a base da física por mais de dois séculos. Seu sucesso em explicar e predizer novo fenômeno tem sido quase completo. É verdade que nem todo movimento material pode ser dito para vir dentro do escopo da gravitação. Eletricidade, magnetismo, radiação – todos tem tido para serem reconhecidos como origens de força. Todavia, observações tem sido consistentes com a idéia que as forças que eles produzem estão em acordo com a definição de Newton. Quase toda mudança observável de movimento na Natureza pode ser explicado como o resultado de uma força Newtoniana, surgindo de condições físicas particulares. Mas há um ou dois que tem definido tal explicação. Eles são excessivamente pequenos – tão pequenos, na realidade, que um pode ser inclinado ao primeiro para negligenciar isso. Mas observações astronômicas são muito exatas, e elas não deixam dúvidas em tudo que há movimentos no sistema solar que tão longe isso não tem sido possível para trazer sob o balanço das leis de Newton. Um dos mais importantes desses é exibido pelo planeta Mercúrio – o mais próximo do sol de todos os planetas já descobertos. Mercúrio, como todos os satélites solares, gira em volta de seu primário em uma elipse. Há um ponto em sua órbita (seu "periélio") o qual está mais próximo do sol que qualquer outro. Agora Mercúrio é, com certeza, atraído pelos outros planetas também como pelo sol, e cálculo mostra que, como um resultado, seu periélio deve gradualmente mudar sua posição no espaço (o espaço absoluto do sistema Newtoniano). Mercúrio tem estado sob observação por muitos anos, e nisso foi encontrado que a posição do periélio faz mudança, mas não por bastante a mesma quantidade como o cálculo requer. A diferença em um século quantia apenas ao aparente comprimento de uma regra I-pé colocada uma milha de distância, mas isso é muito maior que os possíveis erros de observação. Isso deve ter alguma causa ainda não revelada, ou mesmo as leis Newtonianas não estão bastante reveladas. Até o advento da teoria da relatividade, isso pode ser dito que não havia explicação para esse fenômeno.

CAPÍTULO VII

RELATIVIDADE E OS MOVIMENTOS DOS CORPOS

A atitude do relativista para as leis de Newton de movimento e gravitação não é exatamente essa de crítica. O mais que ele estuda eles, o mais são seu maravilhoso, quase mágico, belo e simplicidade trazida de volta para ele. Ele olha neles como nas visões de fadas de Prospero – perfeito em seu gênero, mas pulando de tal coisa como sonhos são feitos. Esse é a suposição subentendida fundamento as leis que são os objetos de seu ataque.

Newton, como nós dizemos, presumiu absoluto espaço, tempo, e matéria. Se essas coisas são relativas, as leis se tornam, não falsas, mas sem sentido. Um corpo deixou para ele mesmo mover em uma linha reta. Mas o que é uma linha reta? Uma linha a qual é reta no espaço de A pode ser curvada no de B. Novamente, força é medida pela taxa de mudança do movimento de um corpo. Mas qual é a "taxa" de mudança? No de quem o sistema de tempo deve ele ser medido? Como, realmente, nós estamos para conhecer se força existe ou não? A, com seu espaço e tempo, encontra uma mudança de movimento: B, com seu espaço e tempo, encontra nenhum. A afirma uma força; B nega isso: qual está certo? Uma vez mais, dois corpos atraem um outro com uma força proporcional ao produto de suas massas divididas pelo quadrado da distância entre eles. Mas o que são suas massas? É A para medir eles, ou B?

Claramente, nós devemos começar novamente se o relativista está certo. Nós devemos ir por trás dos movimentos de corpos, os quais nós observamos de nosso próprio particular ponto de vista, e pensar nos termos dos eventos, os quais são comum para todos. Deixe-nos tomar um exemplo. Em 8 de fevereiro de 1921, a lua estava entre a Terra e o sol. Em 22 de fevereiro de 1921, isso estava na direção oposta da que do sol, como visto da Terra. Newton deu leis para contar para o movimento elíptico da lua do primeiro dessas posições para a segunda, como nós observamos isso. O relativista olha para a conexão entre as séries de eventos os quais nós falamos de como as posições sucessivas da lua entre as datas mencionadas, mas as qual outro observador pode considerar diferentemente. Ele toma um ponto de vista por trás da lua, o sol, as datas, e estuda os eventos dos quais eles lançam. Ele

pergunta como esses eventos particulares são o que eles são, e não algo de outra forma. Mais tarde, quando ele encontra a resposta para sua questão, ele descende para a Terra Mãe novamente, e traduz isso dentro de nossa linguagem de espaço, tempo, e matéria.

Agora, no dado com eventos, nós devemos fazer uso da única relação entre eles conhecida a nós a tanto tempo; chamada, que sua completa separação – a qual nós temos chamado, por conveniência, o intervalo entre eles no quatro dimensional contínuo – é constante, para todos os observadores. Essa separação, como nós temos visto, é obtida pela subtração do quadrado do intervalo espaço como medido pelo mesmo observador, e encontrando a raiz quadrada da diferença.

A completa separação, nós dizemos, é constante para todos os observadores. Mas o que faz isso dizer a nós qualquer coisa sobre o curso da Natureza. Isso não faz dizer a nós como (falando em nossos próprios termos, por brevidade) a lua deve viajar de sua posição em 8 de fevereiro para sua posição em 22 de fevereiro numa elipse, como visto da Terra, e não numa linha reta ou um círculo. Se isso movia-se em um ou outro desses caminhos, a completa separação entre os dois eventos os quais nós descrevemos como sua posição nas datas dadas, vai ainda ter o mesmo valor para todos os observadores, pensado um diferente valor para o qual isso realmente passa. Claramente, para obter a lei da Natureza nós devemos fazer algumas hipóteses como para o atual valor do intervalo entre eventos.

Einstein supôs Natureza para ser tal que o total intervalo quatro dimensional entre qualquer dois eventos, quando computado de evento para evento junto com a real sucessão, tem um valor máximo. Isso é para dizer – para referir para nosso exemplo de novo – se a lua movia em qualquer caminho levemente diferente do que qual isso escolhe, então o intervalo total entre, os dois eventos os quais nós chamamos suas posições em 8 de fevereiro e o 22 de fevereiro vai ser menores que isso é. Isso provavelmente vai aparecer muito surpreendentemente em primeiro, porque, acostumado como nós estamos para intervalos no espaço, isso parece inconcebível que ali pode ser um caminho o qual não tem uma mais leve maior vizinhança aquele. Mas nós devemos notar que o intervalo com o qual nós estamos relacionando está para ser calculado no hipotético quatro dimensionais continuum, e não no espaço. Referindo-se ao capítulo III, nós vemos que isso depende na diferença entre os quadrados dos intervalos do espaço e tempo. Essa diferença pode ser acrescentada diminuindo o intervalo de tempo tão bem como aumentando o intervalo de espaço, assim que nós devemos estar obtendo mais próximo a idéia de Einstein se nós pensamos do real caminho da lua como sendo o que na qual isso pode cobrir a maior distância espacial num curto período de tempo.

Deve ser reconhecido que a hipótese de Einstein era um palpite, embora uma inspirada. Isso depende para sua justificação em sua habilidade para explicar os fatos de observação. Isso é muito como o palpite de Newton sobre o movimento da matéria no estado livre. Newton supôs que matéria livre ia se mover em uma linha reta, por exemplo, que isso ia tomar a mínima distância espacial entre qualquer dois pontos em seu caminho. Einstein supôs que um evento real ia ser separado de seu vizinho pela máxima quatro dimensionais distância. Há essa importante diferença, contudo, entre as duas suposições, Newton estava pensando de um caso ideal, o qual dificilmente ocorria na Natureza, para matéria nunca está bastante livre. Para contar os reais movimentos ele tinha introduzido força. Mas Einstein negociou com eventos reais. Se sua suposição era bem sucedida, ele ia então não ter que precisar de força em qualquer agência em tudo do lado de fora dos eventos por eles mesmos.

Agora sua suposição de Einstein pode ser testada, para, de nosso conhecimento do caminho da lua, por ocorrência, nós podemos calcular o intervalo quatro dimensional entre qualquer dois eventos nisso, e comparar o resultado com o intervalo entre os mesmos dois eventos, supondo que a lua tem viajado em um caminho levemente diferente; por exemplo, supondo as séries de eventos nós chamamos as sucessivas posições da lua no espaço tem sido levemente diferente das quais elas são. Isso tem sido feito, usando a geometria de Euclides no

cálculo. O resultado mostra que o caminho real não dá o máximo intervalo quatro dimensionais.

Nós estamos com cara de, então, com duas possibilidades. Ou a suposição de Einstein é contrária a Natureza, ou de outra maneira as definições e axiomas de Euclides não são relevantes para o espaço no qual os membros do sistema solar viajam. Ou – em outras palavras – a suposição de Einstein deve ser também abandonada no geral, ou modificada pelo emprego de um diferente tipo de combinação de quatro medidas (veja Capítulo III) para o propósito de definição dos intervalos quatro dimensionais na redondeza de corpos materiais. Qual dessas alternativas nós podemos adotar? O impulso natural é, com certeza, em direção ao anterior. Parece ser impossível lançar dúvida em Euclides. Mas, uma vez mais, a matéria não é para ser decidida por prejuízo: isso deve submeter-se para experimento. Se nós assumimos Einstein estar nas linhas certas, então espaço deve ser não-Euclidiano, e medições geométricas nisso devem mostrar resultados contrários as asserções de Euclides. Na outra mão, se o experimento mostra espaço ser completamente Euclidiano, então a suposição de Einstein falha para o terreno, e algumas outras hipóteses se tornam necessárias.

Deixe-nos pausar por um momento para ver o que nós significamos por sendo espaço "não-Euclidiano." Não há nada oculto sobre isso; isso é essencialmente uma declaração sobre fato real físico – para ser testado por experiência ordinária. Isso simplesmente significa que as suposições que Euclides fez sobre espaço não são aplicáveis ao espaço real o qual nós usamos como uma relação entre eventos. O caráter não Euclidiano do espaço, se ele é real, vai levar-nos a esperar alguma, ao menos, das preposições de Euclides para ser falsificada pelas exatas medidas no espaço. Por exemplo, a soma de três ângulos de um triângulo podem não ser exatamente igual aos dois ângulos certos.

O teste parece um teste fácil, mas, como antes, nós estamos confundidos pelos extremos pormenores do efeito crucial. A diferença entre medições praticáveis no espaço de Euclides e no espaço no qual deve ser assumido na ordem para justificar a hipótese de Einstein, são além do poder de instrumentos existentes para detectar. Nossa única esperança – no presente, ao menos – é supor a hipótese de Einstein, e ver se as conseqüências aceitam com fato melhor que esses de qualquer outra suposição.

O resultado da investigação desse tipo tem sido toda em favor de Einstein. Há dois pontos nos quais as teorias de Einstein e Newtonianas dão resultados definitivamente conflitantes, O primeiro está conectado com a órbita do planeta Mercúrio. As leis Newtonianas, como nós temos visto, deixam um pequeno movimento do periélio de seu planeta inexplicado. A suposição modificada de Einstein da um movimento igual ao que observado, dentro dos limites de erro experimental. Se isso não precisa de qualquer modificação adicional para essa explicação, nem era a hipótese construída para o propósito de explicar esse movimento. O resultado segue diretamente da suposição que Mercúrio move no máximo quatro dimensionais caminhos, e a conseqüente suposição de espaço não-Euclidiano. Essa é única explicação do fenômeno *ad hoc* e encontra inaplicável para, ou conflitando com, outras observações.

O segundo ponto no assunto entre as teorias de Einstein e Newtonianas envolvem observações que não tem sido feitas anteriormente para a formulação do princípio da relatividade. Um raio de luz, passando próximo a um corpo pesado, deve, na suposição de Einstein, sofrer uma leve mudança de direção, como se isso fosse puxado através do corpo. De acordo com os princípios de Newton, ali parece não ter razão porque a luz deve ser curvada em tudo. Isso é possível, contudo, que a luz possui o equivalente de peso em um corpo material, e, se assim, a força gravitacional deve causar uma curva similar a que é predita pela teoria da relatividade, mas de apenas sobre metade da quantia. As duas teorias são então definitivamente na variância em suas predições, e um teste experimental se torna possível. Esse teste foi feito no eclipse solar total em 29 de maio de 1919. O corpo pesado escolhido era o sol, e a luz examinada eram essas emitidas pelas estrelas às quais eram quase diretamente atrás do sol como visto da Terra. Durante o eclipse a luz do sol foi extinta, e as estrelas se

tornaram visíveis, aparentemente muito próximas ao sol obscurecido. Agora essas estrelas necessariamente apareciam para estar nas direções de sua própria luz, pelas quais elas eram vistas. Se, então, essa luz foi enviada, elas iam aparecer para ser deslocadas de suas posições normais no céu, as quais eram conhecidas com grande exatidão. A quantia do deslocamento ia ser uma medida da curva da luz. O resultado era que a curva da luz ocorreu, ou só a quantidade (dentro dos limites de erro experimental) requerida pela hipótese de Einstein. Uma vez mais, experimento justificou a suposição que o espaço da experiência á não-Euclidiano.

Há uma terceira conseqüência possível da teoria que não é predita pelas leis de Newton; quer dizer, que a cor da luz emitida por uma substância brilhante em um corpo muito massivo, tal como o sol, deve ser levemente diferente do que da luz do mesmo tipo de material na Terra. Isso não é bastante certo, contudo, que sua conclusão necessariamente segue da teoria. O próprio Einstein considera que isso fez, mas há matemáticos distintos que possuem a visão oposta. A questão é uma de grande dificuldade. Testes experimentais tem sido feitos, mas a cor da luz pode ser influenciada em tantos modos, e os resultados são tão complicados, que não há certas conclusões que podem ainda ser puxadas deles.

N[os estamos deixando, então, com esses fatos. A teoria da relatividade, requerendo que espaço não faz conforme as definições e axiomas de Euclides, explica todos os movimentos dos corpos que são relacionados pela lei Newtoniana da gravitação. Em adição, isso explica um movimento do planeta Mercúrio que postos do lado de fora da lei de Newton, e isso tem predito o caminho verdadeiro de um raio de luz, o qual não há outra teoria parecendo capaz para fazer. Isso requer a suposição de nenhuma existência imaginária, tal como força, mas procede inteiramente e completamente de uma única hipótese como para a associação de eventos. Não há fenômeno conhecido com o qual isso está em variância.

CAPÍTULO VIII

ALGUNS PROBLEMAS DA RELATIVIDADE

Uma grande idéia invariavelmente cria como tantos problemas como suas soluções: que é um sinal de sua grandeza. Um estudante pensador não vai ser confundido por sua novidade ou perda de si mesmo nesses detalhes. Ele vai pacientemente investigar isso para o centro, e pôr revelado para sua mente seu sentido interior e sua relação para o mundo de experiência. E fazendo assim ele vai conhecer com dificuldades – não, talvez, as dificuldades que são dadas contidas em livros, para eles eram os autores, e não podem ser seu próprio. A realização de um novo ponto de vista está impedido, não tanto como a aspereza da estrada como pela tendência a retornar ao velho ponto de vista. Essa é nossas preposições que seguram nós de volta, arrastando-nos, como um imã, para eles mesmos. Cada um de nós tem seu próprio ponto de vista e prejuízos; cada um vai ter suas próprias dificuldades.

Isso pode ser dito do princípio da relatividade que, para a maior parte, isso oferece os mesmos problemas para todos os homens simples. Esse ponto de vista é tão remoto do que ao qual a maioria de nós estamos acostumados que nós estamos relativamente juntos, e aproximamos isso junto com caminhos paralelos. Isso, nosso capítulo de conclusão, é entregue para uns poucos comentários gerais em algumas das mais proeminentes dificuldades que são nosso lote comum. Isso faz reivindicar para ser exaustivo ou final; seu único propósito é ajudar

É importante que nós devemos reconhecer que o princípio da relatividade não é uma complexa, fantástica teoria – um tipo de última esperança, chamada em para salvar a mente humana de combater pelas manobras do fenômeno. Isso é, ao contrário, o ataque direto no problema da Natureza, uma tentativa para ver elas como elas são. Isso é uma busca depois do simples. Isso é inevitável que isso deva possuir seu fim no custo da plausibilidade. Nós estamos acostumados ao complexo – matéria, espaço, e tempo – e nós estamos tanto tempo em casa com eles que nós não fazemos, talvez, dar nossa corrida ao completo crédito para a consistência e sucesso com o qual isso tem aplicado eles para a interpretação do Universo. Prestidigitando com três bolas não é uma matéria simples, e nós temos feito isso quase a

perfeição. Não é surpreendente que, quando nós estamos deixando com um, nós estamos uma perda para conhecer como realizar nossos truques. Mas deixe-nos uma vez claramente realizar as condições; deixe-nos adequadamente arranjar nossos espelhos para fazer para as bolas perdidas, e nós devemos encontrar nosso repertório aumentado e nosso próprio esforço simplificado. Isso é, em essência, o sentido central da relatividade. Isso toma-nos para o ponto de vista dos deuses, dos quais nós vemos coisas como elas são, não modificadas pela reflexão na matéria, espaço, e tempo. Isso é um passo adiante através da verdade, e verdade é simplesmente ao simples notado.

A questão da existência do éter na luz da relatividade tem surgido muita discussão. Aparentemente há ainda diferenças de opinião neste ponto. Isso vai ser ignorante, então, para fazer qualquer pronunciamento definitivo. Nós devemos meramente oferecer umas poucas sugestões de nosso próprio ponto de vista. Ali parece ser nada na teoria da relatividade que é incompatível com o éter. Na outra mão, a teoria não tem que precisar da existência do éter. Há provavelmente sido um pouco desentendido em alguns quartos como para que a relatividade realmente implica. A teoria é baseada na suposição que isso é inconcebível que nós devemos sempre detectar o movimento relativo entre matéria e éter. Mas isso não se faz necessariamente significar que não há éter. O movimento relativo está escondido porque a velocidade com a qual o éter (se isso existe) transmite ondas é quase, se não bastante, idêntico com a velocidade peculiar que toma parte na fórmula da relatividade para mudança de unidades de tempo, espaço, e matéria com movimento. Se as mudanças dessas também chamadas unidades fundamentais são garantidas, então o0 experimento parece decidir nenhum para nem contra a existência do éter. Há ainda a possibilidade que o éter possui alguma propriedade física, outra que o poder para transmitir ondas, para as quais não há compensação é feita pelas transformações da relatividade. A essência da relatividade é o caráter universal do evento, e a subordinação do espaço, tempo, e matéria. Um éter subordinado em adição vai aparecer não para ser inconsistente com isso. O éter pode, em qualquer taxa, ter uma existência tão real como matéria, e que é tudo que é demandado, ou isso pelos fatos físicos os quais chamados dentro da existência.

Nós já temos dado mais que uma vez com a idéia que relatividade não é uma teoria física, mas uma metafísica. Esse livro tem falhado em seu propósito se isso não tem feito isso claramente que a teoria inteira é erguida com um objeto de contagem para fatos físicos reais, e põe ou falha no ditame do experimento. A teoria da relatividade não é mais metafísica que a teoria de onda da luz, ou a lei de Newton de movimento. Isso participa de sua natureza, e é vulnerável para as mesmas armas. Isso aparece, talvez, ao primeiro rubor para ser metafísica, porque isso dá com a natureza de matéria, espaço, e tempo, os quais são parte do playground da metafísica. Mas é com essas coisas como objetivo entidades que a relatividade está concernida. Essa asserção sobre elas são suscetíveis aos reais testes físicos com relógios, escalas, e balanças. Eles podem ser considerados metafisicamente, isso é verdade, mas relatividade não faz para considerar eles. Amor é um jogo leal para o metafísico, mas nós não nos apaixonamos metafisicamente. Isso é essencialmente uma matéria de experiência.

Mas talvez a maior dificuldade da relatividade seja apresentada na imaginação. As conseqüências da teoria são tão extraordinárias que nós não podemos retratá-las. Isso parece impossível, por exemplo, que a ordem dos eventos no tempo pode ser diferente para diferentes pessoas. Nós devemos lembrar, contudo, que relatividade não herda qualquer coisa que é *contrária* à experiência. Isso não vai ter direito para existir se isso era então. Suas predições, que parecem para nós tão estranhas, são relatadas para matérias como ainda *do lado de fora* de nossa experiência, sobre o qual nós apenas podemos formar conjecturas. Tudo o que nós vamos sobre todos os dias de nossa vida é deixado intocado. Por eles há um sentido real e definido da declaração que um homem tem 6 pés de altura, que é nove horas, e que o

açúcar é 8º de uma libra. Com todos os movimentos terrestres, mesmo que, as declarações são, para propósito prático, exato. Eles são bastante tão verdadeiros como a declaração que, na luz do sol, grama é verde. Isso é apenas quando nós obtemos dentro de condições que são longe além de nossa experiência comum que os efeitos raciocinados escondem nossas antecipações. Com um sol composto de sódio, grama não vai por muito tempo ser verde, e espaço, tempo, e matéria, nas circunstâncias apropriadas, sofrem uma mudança correspondente. Isso não é verdade para dizer que relatividade está revoltando para nossa experiência. Mas, depois de tudo, Natureza não tem nada para fazer com nossas expectativas.

Isso está bem com Ciência quando razão e imaginação vão de mão em mão. Um assiste o outro, e a mente estão satisfeita. Mas, a história da Ciência mostra que isso não está nesse caminho que o maior avança tem sido feito. A imaginação de Faraday viu o campo elétrico enfiado por "linhas de força," para o qual corpos eram arreados e na obediência para a qual eles moviam-se em seus cursos. Mas a mente estava confusa: a razão não pode encontrar linhas de força até Clerk-Maxwell trazer elas dentro destas luzes. Nas palavras de Helmholtz: "Agora que a interpretação matemática das concepções de Faraday considerando a natureza de forças elétricas e magnéticas tem sido dadas por Clark-Maxwell, nós vemos quão grande um grau de exatidão e precisão foi realmente esquecido atrás das palavras, as quais para os contemporâneos de Faraday pareciam ou vago ou obscuro... eu confesso que muitas vezes eu tenho a mim mesmo sentado sem esperança olhando sobre algum parágrafo das descrições de Faraday das linhas de força, ou da corrente elétrica sendo um eixo de potência."

Não vai ter sido ignorante para conter a imaginação de faraday porque a razão não pode seguir isso?

Ou – para tomar um exemplo mais proximamente aliado a presente discussão – pense da aurora da idéia que a Terra estava em volta e rotacionada num eixo. A razão demanda disso; não há outra explicação dos fatos. Mas onde estava a imaginação? Pode alguém realmente acreditar que haviam pessoas na Terra que estavam de cabeça para baixo e ainda não caiam fora? Isso era impossível; o senso comum zombava da sugestão. Ainda, ia o progresso ter sido possível se nós tínhamos ouvido para senso comum e silenciado a voz da razão?

Nós estamos no muito da mesma posição hoje. Podemos nós não tomar coração da experiência do passado? Hoje o aluno mais sombrio conhece nosso lugar no sistema solar, e encontra isso sem dificuldade de aceitar. Seguramente isso não é impossível que o paradoxo da relatividade vá um dia se tornar uma parte de nosso conhecimento comum e costume nossa visão da Natureza. A razão chama para isso: se isso é verdade, a imaginação não vai ser deixada longe atrás de.

Por enquanto, a razão vai marchar junto com e explorar recente nação, e nós podemos ao menos meditar nessas conquistas. Não importa nossa atitude em direção e eles possam ser, nós devemos reconhecer que o mundo é um longo mais maravilhosa coisa que nós sempre imaginamos. Concepções as quais nós pensávamos eram universal aparecia como meramente um conjunto de um número infinito de concepções possíveis. Nossa idéia de Natureza – consistente pensado como isso tem sido, e, então, para alguma extensão, verdade – não é ainda toda a verdade. Nós temos "balançado aproximadamente em um balançante-cavalo, e penso esse Pegasus." A teoria da relatividade não faz o semblante da ênfase de Swinburne, com a qual nós abrimos: isso deve fazer-nos muito humildes.

Finalmente, nós não devemos imaginar que a teoria da relatividade está completa e auto-suficiente. Especialmente como isso está no começo de um novo capítulo na Ciência. Algumas páginas desse capítulo já tem sido escritas, e o trabalho é até agora em progresso. Eletromagnetismo está sendo examinado; a natureza do espaço, e sua extensão, estão sendo sujeitados a pesquisa de investigação. Nós temos tentado nesse livro, indicar o ponto de vista; a visão que nós devemos calha cultivada em nossos olhos são ajustadas para as novas

distâncias. Mas a visão está ali, e a recompensa de nossos labores vai ser limitada apenas pela qualidade de nossa visão.